

# 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础

- 一、(20 分) 叙述你所熟悉的某一类材料的凝固过程。
- 二、(20 分) 叙述你所熟悉的某一类材料的变形行为及其特点。
- 三、(每小题 10 分, 共 70 分) 根据图 11-1 所示铁碳亚稳平衡相图和你所学所有知识, 回答下列问题:

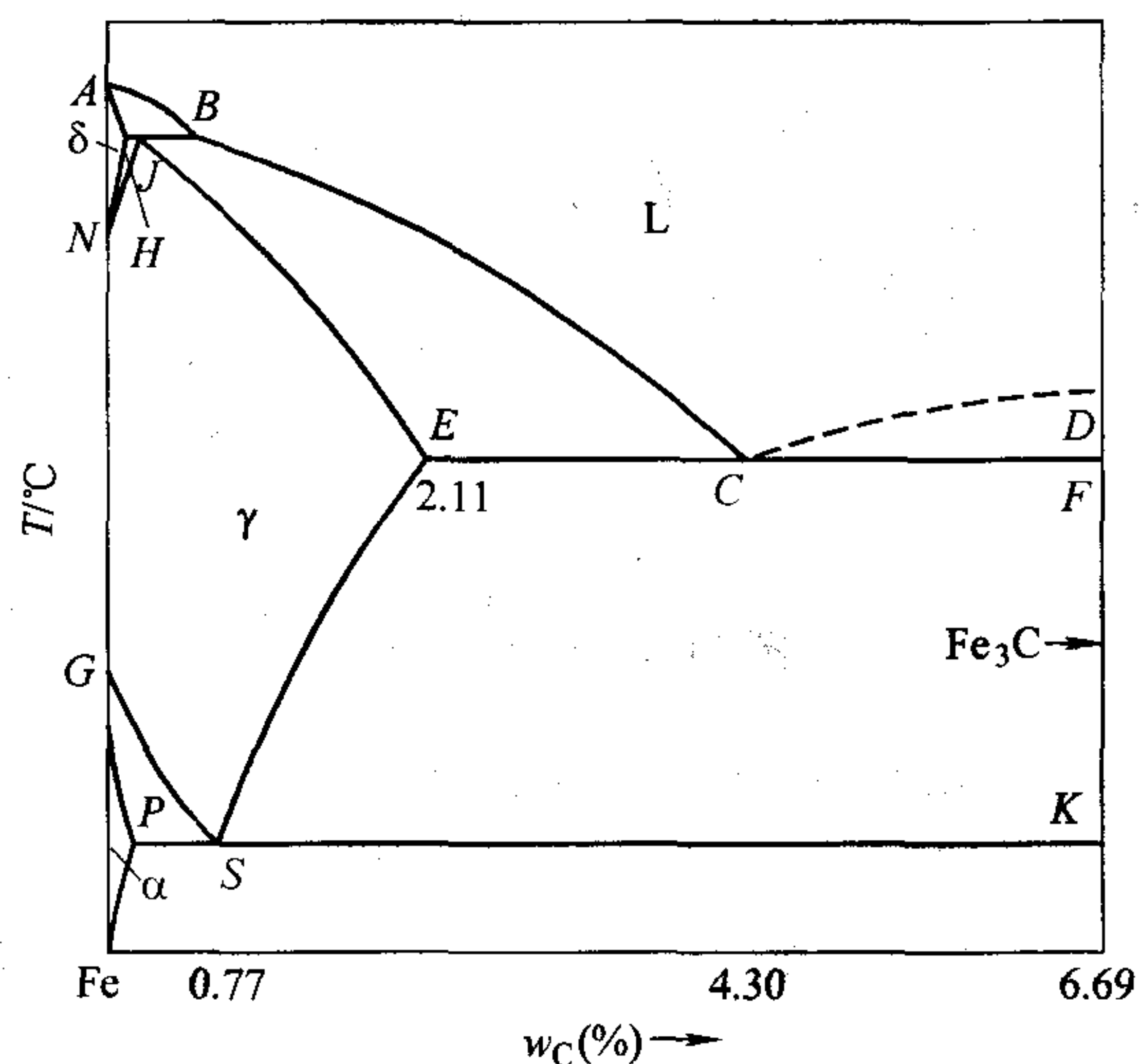


图 11-1 第三题图

1. (10 分) 分析氢、氮、碳、硼在  $\gamma$ -Fe 中形成固溶体的类型, 进入点阵中的位置和固溶度大小。已知元素的原子半径如下: 氢 0.046nm, 氮 0.071nm, 碳 0.077nm, 硼 0.091nm,  $\gamma$ -Fe 0.126nm。
2. (10 分) 标注相图中平衡反应的成分及温度, 写出平衡反应式。
3. (10 分) 分析  $w_C = 1\%$  的铁碳合金平衡凝固到室温过程的组织变化。
4. (10 分) 指出  $\gamma$  相的晶体结构、密排方向、密排面、致密度、配位数、晶胞中原子数和通常情况下的滑移系; 画出其中一个滑移系, 并标明指数。
5. (10 分) 结合你所学的有关知识, 说明如何提高 Fe-C 合金的强度。

6. (10 分)  $w_c = 0.1\%$  的铁碳合金在拉伸中，一种情况是在拉伸出现塑性变形后去载，立即再加载；另一种情况是去载后时效再加载。试解释前者无屈服现象后者有屈服现象的原因。

7. (10 分)  $w_c = 0.1\%$  的铁碳合金制作成齿轮，对齿轮气体渗碳强化。画出钢在渗碳后的组织分布示意图；渗碳在  $\gamma\text{-Fe}$  中进行而不在  $\alpha\text{-Fe}$  中进行，即渗碳温度选择要高于  $A_3$  温度，为什么？渗碳温度高于  $1100^\circ\text{C}$  会出现什么问题？

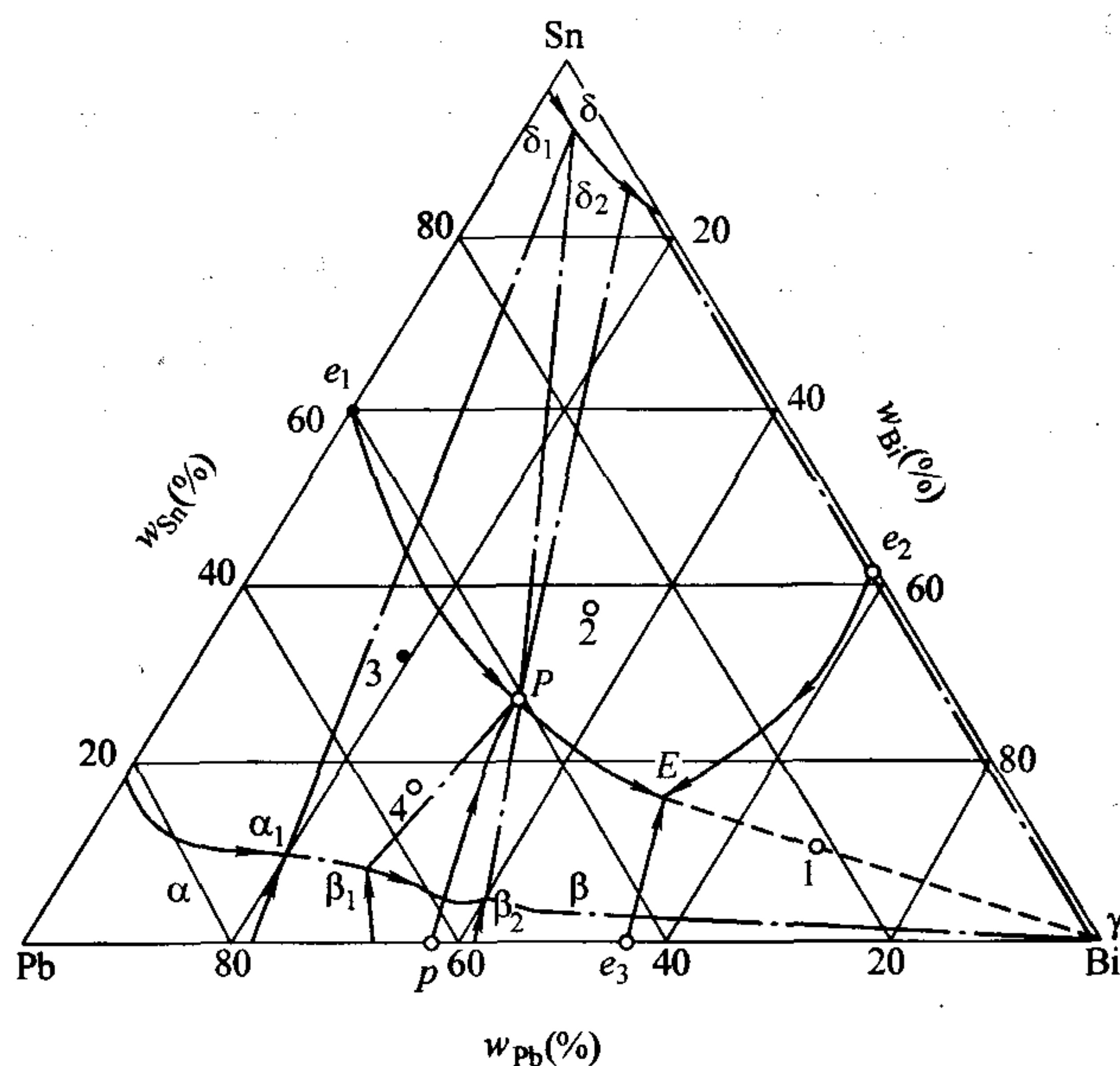


图 11-2 第四题图

四、(10 分) 如图 11-2 所示相图，写出四相反应；分析 2 点合金结晶过程。

五、(10 分) 分析位错对金属材料性能的影响。

六、(20 分) 就你所学所有知识，谈谈如何控制和改善金属材料中的组织。

## 标准答案

一、(简答，以金属材料为例)

金属材料在凝固过程后通常得到结晶体，因此金属材料的凝固过程也称结晶过程。

金属的结晶通常分为两个阶段，即形核和形核后的长大阶段。

金属的形核通常在金属熔体中的小尺寸有序原子集团（晶胚）基础上，通过原子扩散而形成能够稳定长大的晶核，即纯金属的形核过程一般需要满足能量

条件和结构条件，而合金的形核还要一定的成分条件。

金属形核后的长大通常需要一个较小的过冷度，原子向晶核扩散而长大，在长大过程中结晶界面是粗糙界面，因此金属长大速度一般很快，而结晶界面结构、温度梯度和结晶速度会影响到长大后的晶粒形状和大小，对于合金通常还会造成合金结晶后出现成分偏析等问题。

## 二、(简答，以金属材料为例)

金属材料在拉伸变形中通常经历弹性变形、塑性变形阶段，最终可能断裂。

金属材料的每个单晶体中主要变形方式以滑移为主，部分金属在变形中也会出现孪生变形。滑移和孪生变形的微观机制均可以用位错的观点进行解释。

多晶体材料则由于晶界的阻滞作用和相邻晶粒位向差的不同通常会影响位错运动，导致多晶体材料变形相对单晶体材料困难。

单相固溶体合金则因为溶质原子的作用出现固溶强化，体心立方金属在拉伸过程中有屈服现象和应变时效现象。

多相合金的塑性变形特点与第二相的数量、尺寸和分布有关，一般细小弥散、均匀分布的第二相会增强合金强度，使变形困难。

金属材料在变形过程中通常有加工硬化现象，同时微观组织和其他物理化学性能也有改变。

## 三、

1.  $\gamma$ -Fe 为 FCC 结构，八面体间隙半径  $r = 0.414R_{\text{原子}} = 0.0522\text{nm}$ ，四面体间隙半径  $r = 0.225R_{\text{原子}} = 0.0284\text{nm}$ 。可见氢、氮、碳原子在  $\gamma$ -Fe 中一般会溶入八面体间隙中心，形成间隙固溶体，固溶度较小；硼在  $\gamma$ -Fe 中一般也是位于八面体间隙中心，形成间隙固溶体，但是有时也可以形成置换固溶体。

2. 图中平衡反应成分、温度和反应式如下（三条水平线，从上到下）：

$1495^{\circ}\text{C}$ ， $L_B + \delta_H \rightarrow \gamma_J$ ， $B$ 、 $H$  和  $J$  点成分分别为： $w_C = 0.09\%$ ， $w_C = 0.17\%$ ， $w_C = 0.53\%$ 。

$1148^{\circ}\text{C}$ ， $L_C \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$ ， $C$ 、 $E$  点和  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分分别为： $w_C = 4.3\%$ ， $w_C = 2.11\%$ ， $w_C = 6.69\%$ 。

$727^{\circ}\text{C}$ ， $\gamma_S \rightarrow \alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}$ ， $S$ 、 $P$  点和  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分分别为： $w_C = 0.77\%$ ， $w_C = 0.0218\%$ ， $w_C = 6.69\%$ 。

3. 合金平衡凝固到室温过程的组织变化为：



4.  $\gamma$  为 FCC 结构，其密排方向、密排面、致密度、配位数、晶胞中原子数分别为  $\langle 110 \rangle$ 、 $\{111\}$ 、0.74、12 和 4；通常情况下的滑移系为  $\{111\} \langle 110 \rangle$ ，其中一个滑移系为  $(111) [\bar{1}10]$ ，指数如图 11-3 所示。

5. (简答) 提高 Fe-C 合金的强度方法有多种，主要有加工硬化、微合金强



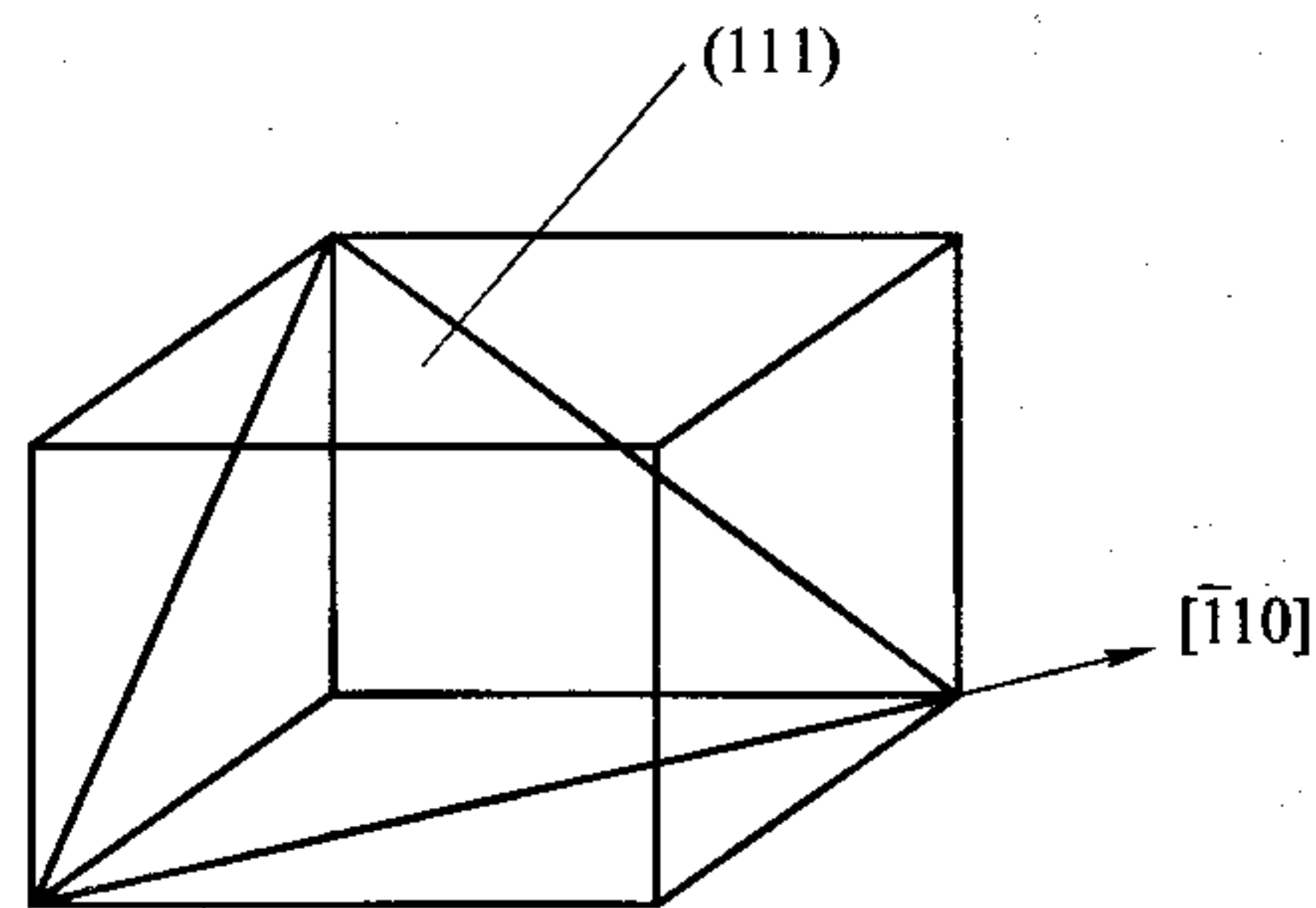


图 11-3 第三题第 4 小题解答图

化、固溶强化、细化晶粒强化、热处理强化（马氏体相变强化等）。

6.  $w_C = 0.1\%$  合金中由于 C 原子与 Fe 的弹性交互作用，形成柯垂尔气团（亦称柯氏气团），柯垂尔气团与位错的交互作用导致合金出现屈服现象，在拉伸出现塑性变形后去载，立即再加载是已经克服了柯垂尔气团对位错的阻碍，立即再加载不会重新出现屈服现象，而卸载后时效再加载会使溶质原子重新聚集形成与位错的新的交互作用，从而使合金再次出现屈服现象。

7.  $w_C = 0.1\%$  合金齿轮渗碳后的组织分布示意图如图 11-4 所示。

渗碳在  $\gamma$  温度范围中（ $A_3$  温度以上）进行而不在  $\alpha$  温度范围中进行的主要原因是，温度较高，渗碳速度可以较快，同时在  $\gamma$  温度范围中进行渗碳，可以得到较大的含碳量，但是渗碳温度高于  $1100^\circ\text{C}$  会导致基体合金晶粒粗大，力学性能下降，同时对渗碳设备也会提出更高要求。

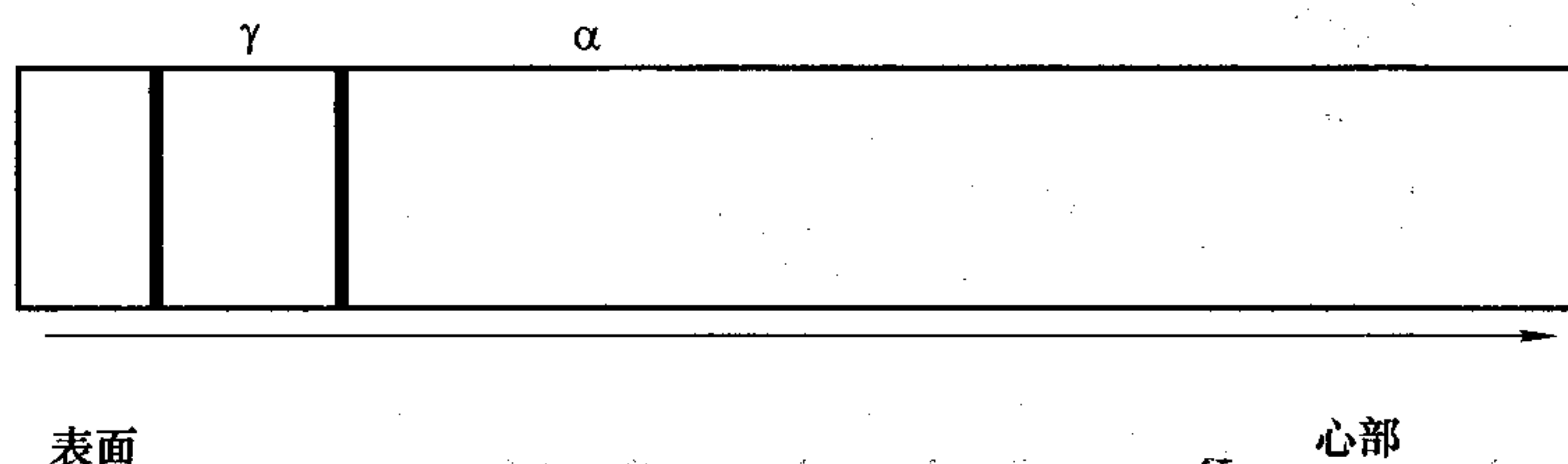


图 11-4 第三题第 7 小题解答图

#### 四、

P 点（包共晶反应）： $L + \alpha_1 \rightarrow \delta_1 + \beta_1$ 。

E 点（三元共晶） $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2 + \gamma$ 。

图中 2 点合金凝固过程： $L \rightarrow \delta$ ； $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2$ ； $L \rightarrow \delta_2 + \beta_2 + \gamma$ 。

五、（简答）位错对金属材料性能的影响主要有：金属的塑性变形是通过位错的运动实现的，因此金属材料的强化手段可以通过改变材料中的位错数量来实现；合金中位错与溶质原子发生作用形成柯垂尔气团造成屈服现象和应变时效，位错是第二相形核的择优场所，通常第二相在位错处可以优先形核长大；刃型位

错可以看成是一个管道，可以加速扩散速度。

六、（以金属材料为例，简答）材料的组织与其成分和加工过程密切相关。

控制和改善金属材料中的组织可以通过选择成分确定合适的组织，不同成分金属可以得到纯金属、单相固溶体合金和多相合金；可以通过添加剂改变金属的晶粒大小；可以通过不同加工处理手段改变金属材料组织，如铸造过程中的冷却速度和冷却方式、温度梯度、铸造后的压力加工大小和方式；可以通过热处理改变金属材料组织；可以通过快速凝固和粉末冶金等手段获得非平衡组织。